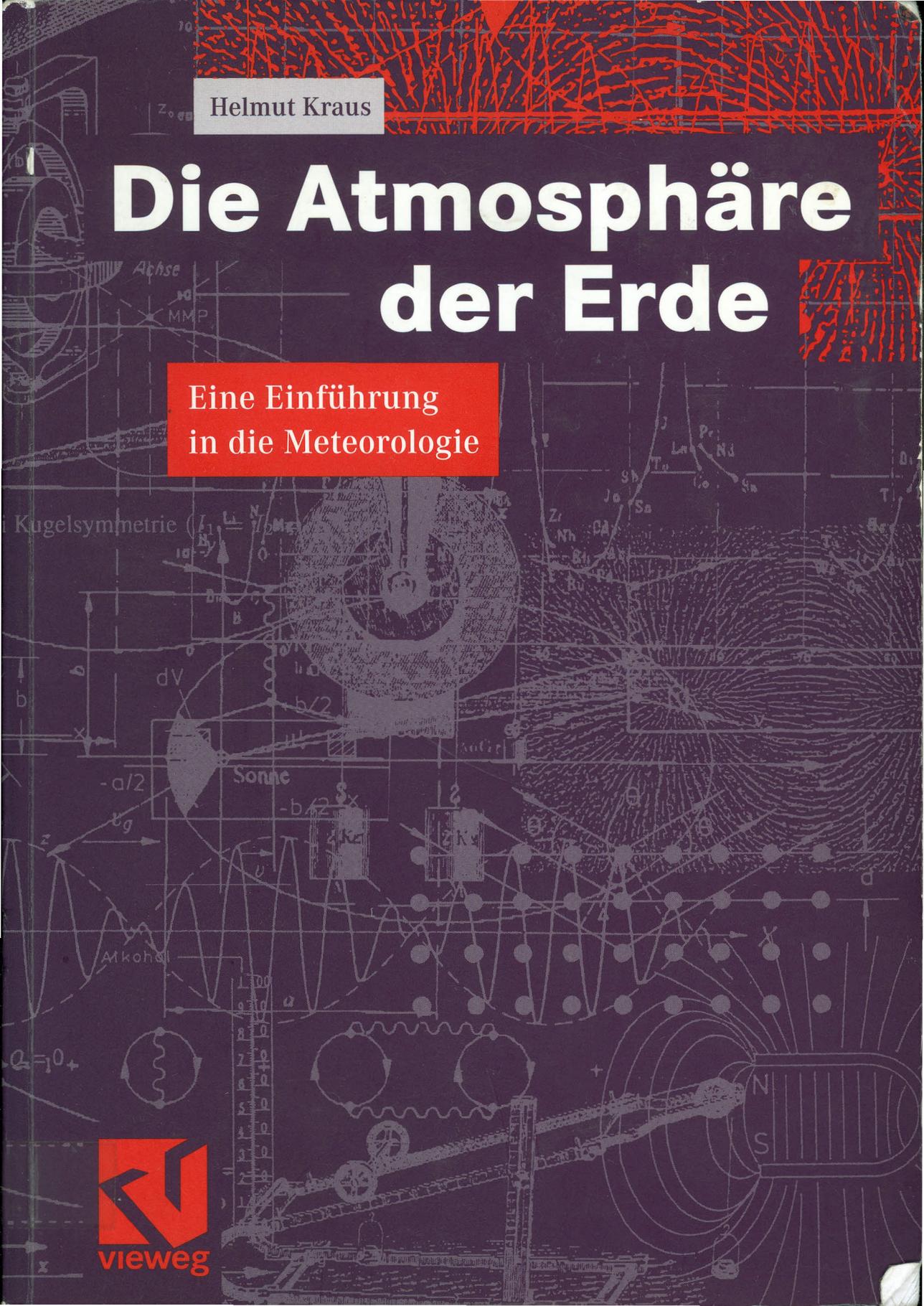


Helmut Kraus

# Die Atmosphäre der Erde

Eine Einführung  
in die Meteorologie



Helmut Kraus

# Die Atmosphäre der Erde

Eine Einführung in die Meteorologie

Mit 196 Abbildungen, 184 Übungsaufgaben  
und einer farbigen Klimakarte der Erde

336/4099 INSTITUT  
FÜR METEOROLOGIE U. KLIMATOLOGIE  
UNIVERSITÄT HANNOVER  
HERRENHÄUSER STR. 2 - 30419 HANNOVER



# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b> . . . . .	XI
<b>I. Einige Grundlagen</b>	
I.1 Erster Blick in die Atmosphäre . . . . .	1
I.2 Die Skalendenweise . . . . .	6
I.3 Die Teilgebiete der Meteorologie . . . . .	12
I.4 Größen, Zahlenwerte, Einheiten . . . . .	14
<b>II. Die meteorologischen Elemente</b> . . . . .	17
<b>II.1 Der Luftdruck</b> . . . . .	17
II.1.1 Zusammensetzung der Luft . . . . .	17
II.1.2 Die allgemeine Gasgleichung . . . . .	20
II.1.3 Das Daltonsche Gesetz . . . . .	21
II.1.4 Die barometrische Höhenformel . . . . .	22
II.1.5 Die Druckmessung . . . . .	25
II.1.6 Die Luftdruckverteilung an der Erdoberfläche . . . . .	28
<b>II.2 Die Windgeschwindigkeit</b> . . . . .	32
II.2.1 Definition . . . . .	32
II.2.2 Messung und Registrierung des Windes . . . . .	34
II.2.3 Änderung von Größen mit den Feldkoordinaten . . . . .	39
II.2.4 Der Transport einer spezifischen Eigenschaft . . . . .	41
II.2.5 Die Begriffe Haushalt und Advektion . . . . .	45
<b>II.3 Die Temperatur</b> . . . . .	48
II.3.1 Erste thermodynamische Begriffe . . . . .	48
II.3.2 Die Hauptsätze der Thermodynamik . . . . .	50
II.3.3 Thermodynamische Potentiale und spezifische Wärme . . . . .	57
II.3.4 Die Definition der Temperatur und ihrer Maßskalen . . . . .	60
II.3.5 Die Temperaturänderung eines Luftteilchens bei Vertikalbewegungen . . . . .	62
II.3.6 Haushalt und Flußdichten „fühlbarer Wärme“ . . . . .	65
II.3.7 Die Temperaturmessung . . . . .	69
<b>II.4 Die Luftfeuchtigkeit</b> . . . . .	77
II.4.1 Die verschiedenen Feuchtemaße . . . . .	77
II.4.1.1 Der Dampfdruck $e$ . . . . .	77
II.4.1.2 Die absolute Feuchte $a$ . . . . .	87
II.4.1.3 Die spezifische Feuchte $q$ . . . . .	87
II.4.1.4 Das Mischungsverhältnis $m$ . . . . .	89
II.4.1.5 Die relative Feuchte $f$ . . . . .	89
II.4.1.6 Der Taupunkt $\tau$ . . . . .	90
II.4.1.7 Die virtuelle Temperatur $T_v$ . . . . .	90

II.4.2	Der Wasserdampftransport . . . . .	91
II.4.3	Temperatur- und Feuchtefelder nahe am Erdboden . . . . .	94
	II.4.3.1 Die Energiebilanz an einer Oberfläche . . . . .	94
	II.4.3.2 Beispiele . . . . .	96
II.4.4	Die Feuchtemessung . . . . .	101
	II.4.4.1 Das Psychrometer . . . . .	101
	II.4.4.2 Andere Feuchte-Meßverfahren . . . . .	105
<b>II.5</b>	<b>Die Strahlung . . . . .</b>	<b>107</b>
II.5.1	Die Natur der meteorologisch wirksamen Strahlung . . . . .	107
II.5.2	Die Strahlungsgesetze . . . . .	110
	II.5.2.1 Nomenklatur von Strahlungsgrößen . . . . .	110
	II.5.2.2 Das Plancksche Strahlungsgesetz . . . . .	111
	II.5.2.3 Das Wiensche Verschiebungsgesetz . . . . .	114
	II.5.2.4 Das Gesetz von Stefan-Boltzmann . . . . .	116
	II.5.2.5 Das Kirchhoffsche Gesetz . . . . .	118
II.5.3	Solare und terrestrische Strahlung . . . . .	123
II.5.4	Phänomenologie der Strahlungsflußdichten . . . . .	132
II.5.5	Optische Erscheinungen in der Atmosphäre . . . . .	147
<b>II.6</b>	<b>Der Aufbau der Atmosphäre . . . . .</b>	<b>154</b>
II.6.1	Der vertikale Aufbau . . . . .	154
	II.6.1.1 Einteilung nach dem Temperaturverlauf . . . . .	154
	II.6.1.2 Standard-Atmosphären . . . . .	162
	II.6.1.3 Zusatzbemerkungen zur vertikalen Struktur der Troposphäre . . . . .	163
II.6.2	Der horizontale Aufbau . . . . .	166
<b>III.</b>	<b>Thermodynamik und Wolken . . . . .</b>	<b>175</b>
<b>III.1</b>	<b>Änderung meteorologischer Parameter bei adiabatischen Prozessen . . . . .</b>	<b>175</b>
III.1.1	Änderung der Feuchte beim trocken-adiabatischen Prozeß . . . . .	175
III.1.2	Der sättigungs-adiabatische Temperaturgradient . . . . .	178
<b>III.2</b>	<b>Temperaturschichtung und Stabilität . . . . .</b>	<b>184</b>
III.2.1	Ursachen für Vertikalbewegungen . . . . .	184
III.2.2	Stabilitätskriterien . . . . .	189
III.2.3	Bemerkungen zur Genauigkeit . . . . .	192
<b>III.3</b>	<b>Beispiele zur Thermodynamik . . . . .</b>	<b>194</b>
<b>III.4</b>	<b>Thermodynamische Diagrammpapiere . . . . .</b>	<b>203</b>
III.4.1	Das Stüve-Diagramm . . . . .	203
III.4.2	Andere Diagrammpapiere . . . . .	211

<b>III.5 Phänomenologie</b> . . . . .	214
III.5.1 Wolken . . . . .	214
III.5.2 Nebel . . . . .	218
III.5.3 Niederschlag . . . . .	227
III.5.3.1 Allgemeines . . . . .	227
III.5.3.2 Hydrometeore . . . . .	231
<b>IV. Dynamik der Atmosphäre</b> . . . . .	235
<b>IV.1 Kinematik</b> . . . . .	237
IV.1.1 Die Divergenz der Windgeschwindigkeit . . . . .	237
IV.1.2 Rotation und Zirkulation . . . . .	242
IV.1.3 Stromlinien und Trajektorien . . . . .	251
<b>IV.2 Die Bewegungsgleichung</b> . . . . .	259
IV.2.1 Die Newtonschen Axiome . . . . .	259
IV.2.2 Die wirksamen Kräfte . . . . .	260
IV.2.3 Die Navier-Stokes-Gleichung . . . . .	270
IV.2.4 Skalenanalyse . . . . .	272
<b>IV.3 Zweidimensionale Windsysteme</b> . . . . .	276
IV.3.1 Eine einfache zweidimensionale Bewegungsgleichung . . . . .	276
IV.3.2 Der geostrophische Wind . . . . .	279
IV.3.3 Der Gradientwind . . . . .	280
IV.3.4 Der zyklotropische Wind . . . . .	284
IV.3.5 Der Trägheitskreis . . . . .	286
IV.3.6 Der Einfluß der Reibung . . . . .	291
<b>V. Synoptische Meteorologie</b> . . . . .	299
<b>V.1 Allgemeines zur Synoptik</b> . . . . .	299
V.1.1 Definition, wissenschaftliche und technische Grundlagen, Geschichte . . . . .	299
V.1.2 Darstellung der synoptischen Felder . . . . .	304
V.1.3 Thermische Verknüpfung von Boden- und Höhenwetterkarten . . . . .	312
V.1.4 Barotrope und barokline Felder . . . . .	319
<b>V.2 Die synoptischen Systeme mittlerer Breiten</b> . . . . .	321
V.2.1 Phänomene in verschiedenen Skalen . . . . .	321
V.2.2 Fronten . . . . .	333
V.2.2.1 Begriffe, Skalen, Beobachtungen . . . . .	333
V.2.2.2 Die Polarfront-Theorie . . . . .	337
V.2.2.3 Übergang zur Feld-Theorie . . . . .	343
V.2.2.4 Die Feld-Theorie . . . . .	348
V.2.2.5 Fronten in unterschiedlichen Skalen . . . . .	359

<b>VI. Klimatologie</b> . . . . .	364
<b>VI.1 Die Allgemeine Zirkulation der Atmosphäre (AZA)</b> . . . . .	364
VI.1.1 Definition der AZA . . . . .	364
VI.1.2 Grundlagen zum Verständnis der AZA . . . . .	368
VI.1.2.1 Die differentielle Erwärmung des Systems Erde-Atmosphäre	368
VI.1.2.2 Die Erhaltung des Drehimpulses des Systems Erde-Atmosph.	372
VI.1.3 Die Flußdichten . . . . .	379
VI.1.4 Konzeptionelles Bild der AZA . . . . .	384
VI.1.5 Die Geschichte des Verständnisses der AZA . . . . .	387
<b>VI.2 Das bodennahe atmosphärische Klima</b> . . . . .	391
VI.2.1 Klimatabellen . . . . .	397
VI.2.2 Klimadiagramme . . . . .	405
VI.2.3 Klima-Atlanten . . . . .	417
VI.2.4 Klima-Karten . . . . .	417
VI.2.5 Bodennahe Klima-Änderungen . . . . .	425
<b>Anhang A: Energie und Leistung im Vergleich</b> . . . . .	431
<b>Anhang B: Fragen und Übungen</b> . . . . .	434
<b>Literaturverzeichnis</b> . . . . .	452
<b>Sachwortverzeichnis</b> . . . . .	460